

V8: Röntgenstrahlung

PRAKTISCHE ÜBUNGEN IN PHYSIK FÜR MEDIZINER, ZAHNMEDIZINER UND BIOLOGEN

PHYSIKALISCHE ÜBUNGEN FÜR PHARMAZEUTEN

STAND: 22. MAI 2019

I. SPEKTRUM EINER MOLYBDÄN-RÖNTGENRÖHRE

In diesem Versuch soll das Spektrum (Intensität in Abhängigkeit der Wellenlänge) einer Molybdän-Röntgenröhre mittels der BRAGG-Reflexion vermessen werden. Die BRAGG-Reflexion eines nahezu parallelen Röntgenstrahles an den Gitterebenen eines Einkristalls beruht auf der Interferenz elastisch gestreuter Röntgenquanten. Aufgrund der periodischen Anordnung der Atome in dem Kristallgitter kommt es zu einer kohärenten (d.h. feste Phasenbeziehung) Überlagerung der Streuwellen und damit auch zu einer Interferenz der Wellen.

Der Winkel ϑ , unter dem konstruktive Interferenz beobachtet wird, hängt von der Wellenlänge λ und dem Netzebenenabstand d ab. Eine schematische Darstellung der BRAGG-Reflexion ist in Abbildung 1 gezeigt. Aus dem Gangunterschied s und der Bedingung für konstruktive Interferenz ($s = n\lambda$, hier: $n = 1$, da nur die erste Ordnung beobachtet wird) kann man folgende Formel herleiten:

$$\lambda = 2d \cdot \sin \vartheta \quad (1)$$

Mit dieser Formel kann man aus dem Ablenkwinkel ϑ die Wellenlänge λ bestimmen.

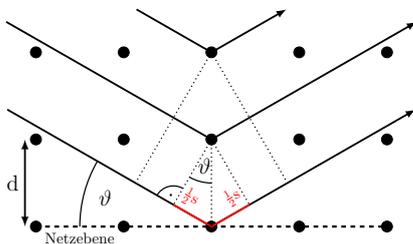


Abbildung 1: Skizze zur Erläuterung der BRAGG-Reflexion.

Mit den elementaren Beziehungen

$$E_\gamma = h \cdot \nu, \quad c = \lambda \cdot \nu \quad (2)$$

lässt sich die Energie E_γ jener Photonen berechnen, welche konstruktive Interferenz unter dem Winkel ϑ zeigen. Hierbei ist c die Lichtgeschwindigkeit ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$) und h das PLANCKSche Wirkungsquantum ($h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s} = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV s}$).

Die maximale Energie der Photonen ist jene Energie, welche sich bei vollständiger Umwandlung der kinetischen Energie der Elektronen in E_γ ergäbe. Photonen höherer Energie bzw. kleinerer Wellenlänge können im Spektrum prinzipiell nicht auftreten. Die kleinst mögliche Wellenlänge wird Grenzwellenlänge λ_{gr} genannt und berechnet sich mit folgender Formel:

$$\lambda_{\text{gr}} = \frac{c \cdot h}{e \cdot U_A} \quad (3)$$

Dabei ist e die Elementarladung ($e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$) und U_A die Beschleunigungsspannung der Röntgenröhre.

VERSUCHSAUFBAU

Stecken Sie zunächst den Kollimator in die Öffnung zwischen Röhrenkammer und Experimentierkammer. Wozu dient dieser?

Stecken Sie den schwarzen Probenhalter in das Loch in der Mitte und schrauben Sie ihn fest. Klemmen Sie die graue Halterung mit der Kante zur Röntgenröhre zeigend in den Probenhalter. Nehmen Sie nun **vorsichtig** und mit **Handschuhen** den Kristall aus der Plastikdose und legen Sie ihn auf die Halterung. Klemmen Sie den Kristall zwischen grauer Halterung und der Kante des schwarzen Probenhalters fest. **Vorsicht:** Der Kristall ist **zerbrechlich** und **hygroskopisch**. Scheuen Sie sich nicht den Tutor um Hilfe zu bitten. Bitten Sie den **Tutor** bei Bedarf, dass er Ihnen das GEIGER-MÜLLER-Zählrohr einbaut.

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Messen Sie die Intensität J der Strahlung für Winkel von 3° bis 12° in $0,5^\circ$ Schritten mit den Röhrenparametern $U = 35 \text{ kV}$ und $I = 1,00 \text{ mA}$. Stellen Sie das Gerät in den COUPLED Modus, wählen $\Delta t = 10 \text{ s}$ und drücken auf SCAN. Nachdem die Messung abgeschlossen ist, können Sie über REPLAY die aufgenommenen Werte aufrufen (mit dem Scrollrad). Notieren Sie sich diese in Ihr Protokoll. Überlegen Sie anhand der Messwerte wo die beiden charakteristischen K_α - und K_β -Linien liegen. Vermessen Sie den Bereich genauer (in $0,2^\circ$ -Schritten).

VERSUCHSAUSWERTUNG

Die Intensität J (die gemessene Zahl der gestreuten Röntgenquanten pro Sekunde) wird gegen den Winkel ϑ auf Millimeterpapier aufgetragen. Die Energien der beiden charakteristischen K_α - und K_β -Linien sind in der Einheit keV aus den entsprechenden Winkeln zu berechnen (siehe Formel 2). Schätzen Sie die Messunsicherheit ab. Wie ist die erhaltene Kurvenform zu interpretieren? Vergleichen Sie die Grenzwellenlänge aus dem Spektrum (extrapolieren Sie) mit der berechneten (siehe Formel 3). Schätzen Sie die Unsicherheit ab.

II. HALBWERTSDICKEN UND ENERGIEABHÄNGIGKEIT DER ABSORPTION

Für einen Absorber mit homogener Zusammensetzung lautet das Schwächungsgesetz:

$$J(x) = J_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (4)$$

Dabei ist J_0 die Intensität der Strahlung vor dem Absorber, x die Dicke des Materials und μ der lineare Abschwächungskoeffizient.

Unter der Halbwertsdicke d_H wird die Schichtdicke eines Absorbermaterials genannt, nach deren Durchlaufen die Intensität der einfallenden Strahlung auf die Hälfte abgefallen ist. Sie ergibt sich aus Gleichung 4:

$$J(d_H) \equiv \frac{J_0}{2} = J_0 \cdot e^{-\mu d_H} \Leftrightarrow d_H = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (5)$$

In dem Versuch untersuchen Sie die Abschwächung von Röntgenstrahlung in einem Material in Abhängigkeit der Dicke des Materials. Die Intensität J der Strahlung wird dabei durch die Zahl der registrierten Pulse eines GEIGER-MÜLLER-Zählrohres innerhalb von 30 s bestimmt. Um den Einfluss des Probenalters auf das Ergebnis zu berücksichtigen wird zusätzlich eine Messung ohne Probe (entspricht $x = 0$ mm) durchgeführt. Dies ist J_0 .

VERSUCHSAUFBAU

Bauen Sie den grauen Probenhalter aus und legen Sie den Kristall behutsam zurück in die Plastikdose. Stecken Sie dann Ihre Probe in den runden Schlitz des schwarzen Probenhalters und drücken Sie ZERO.

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Stellen Sie $U = 35$ kV, $I = 0,05$ mA, $\Delta t = 30$ s und $\Delta\beta = 0^\circ$ ein. Ändern Sie die TARGET- Neigung in 10° -Schritten um die verschiedenen Dicken durchzufahren. Messen Sie die Intensität J bei jedem Schritt.

Wiederholen Sie die Messung, jedoch diesmal mit $U = 30$ kV, $I = 0,08$ mA und $\Delta t = 30$ s.

VERSUCHSAUSWERTUNG

Tragen Sie für die erste Messung $\ln(J/J_0)$ gegen die Dicke des Absorbermaterials x auf. Eine Auflistung der Materialien und ihrer Dicken finden Sie in Tabelle 1. Wie groß ist der lineare Abschwächungskoeffizient μ und die damit nach Gleichung 5 zu berechnende Halbwertsdicke d_H ? Bestimmen Sie die Messungenauigkeit von d_H aus der Unsicherheit von μ , welche sie aus der relativen Abweichung der Messwerte zur Ausgleichsgeraden abschätzen. Diskutieren Sie die Ergebnisse der Gruppen unter Berücksichtigung der Dichte und der chemischen Komposition.

Tragen Sie für die zweite Messung ebenfalls $\ln(J/J_0)$ gegen x auf. Bestimmen Sie die prozentuale Änderung für d_H , wenn Sie die Messung mit $U = 30$ kV mit der Messung mit $U = 35$ kV vergleichen.

	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
Holz (in mm)	0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Aluminium (in mm)	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Leder (in mm)	0	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0
Knochen (in mm)	0	1,2	2,4	3,6	4,8	6,4	7,0
Blei (in μ m)	0	0,45	0,90	1,35	1,80	2,25	2,70
Gummi (in mm)	0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0

Tabelle 1: Dicken der verschiedenen Materialien.

III. PRINZIPIEN BILDGEBENDER VERFAHREN MIT RÖNTGENSTRAHLUNG

Röntgenstrahlung wird auch für medizinische Anwendungen genutzt. In Versuchsteil II haben Sie die Materialabhängigkeit der Absorption kennen gelernt. In diesem Versuchsteil lernen Sie anhand eines Beispiels, wie dies in der Praxis genutzt wird.

VERSUCHSAUFBAU

Bauen Sie Kollimator und Probenhalter aus. Bringen Sie den geschlossenen Kunststoffwürfel auf einem Podest in den Strahlengang. Fahren sie den Sensor auf 90° . Entfernen Sie an der rechten Wand des Geräts den Schutz. Die Messung funktioniert am besten, wenn der Raum abgedunkelt wird.

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Stellen Sie $U = 35$ kV und $I = 1,00$ mA ein. Schalten Sie die Röntgenröhre ein.

VERSUCHSAUSWERTUNG

Dokumentieren Sie, was sich in dem geschlossenen Würfel befindet und erklären Sie, warum Sie ein kontrastreiches Bild erkennen können (Stichwort: Absorption verschiedener Materialien).